



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Landeswettbewerb Jugend forscht

BAYERN



**Bau und Anwendung eines Ra-
dondetektors auf Basis einer
Impulsionskammer**

Christoph Kandlbinder

Erik Haehl

Kilian Zinnecker

Schule:

Gabriel-von-Seidl-Gymnasium Bad Tölz
83646 Bad Tölz

Bau und Anwendung eines Radondetektors auf Basis einer Impulsionskammer

Von Christoph Kandlbinder, Erik Haehl und Kilian Zinnecker

Kurzfassung:

Radon ist ein radioaktives Edelgas, das im Verdacht steht, Lungenkrebs zu erregen.

Bisher gibt es eine Reihe von Messverfahren, die Radon indirekt durch seine Zerfallsprodukte messen und in ihren Ergebnissen stark variieren.

Wir haben nun ein einfaches Messverfahren entwickelt, bei dem die einzelnen Radonzerfälle direkt mit Hilfe einer Impulsionskammer gemessen werden.

Bei diesem Verfahren ergibt jeder Radonzerfall einen kurzen Stromimpuls, der aufwendig verstärkt, mit dem Soundeingang eines PCs, in einer Sounddatei aufgezeichnet wird.

Es ist uns möglich, Radonaktivitäten im Bereich von 20 – 1000 Bq/m³ genau auflösen und dabei jedem einzelnen Impuls sein Integral zuzuordnen zu können.

Nach einer Reihe von Funktionstests des Detektors können wir inzwischen anhand unserer Daten Anzahl, räumliche Lage im elektrischen Feld, Energie und unterschiedliche Ursachen von Störungen erkennen.

Wir haben eine Software entwickelt, mit der man die aufgezeichneten Sound-Dateien komfortabel analysieren kann. Unser „aif-Analyser“ erkennt selbstständig einzelne Zerfälle und errechnet automatisch ein Energie – Spektrum des α - Zerfalles.

Somit kann die Strahlenbelastung der Luft nachgewiesen werden und es können Rückschlüsse auf die Folgezerfälle und Halbwertszeiten gezogen werden.

Die weitere Zielsetzung ist jetzt, den Detektor unempfindlicher gegenüber akustischen und elektrischen Störung zu machen.

Außerdem soll unser Computerprogramm α -Zerfallsereignisse und noch vorhandene Störimpulse in Zukunft selbstständig noch sicherer als solche erkennen und gegebenenfalls herausfiltern.

Gliederung:

1. <u>Einleitung</u>	3
2. <u>Theorie und Grundlagen</u>	3
2.I. Radon	
2.II. α -Zerfall und Ionisation	
2.III. Impulsionskammer	
3. <u>Konkreter Aufbau unseres Radondetektors</u>	7
3.I. Sockel	
3.II. Kammer	
3.III. Hochspannung	
3.IV. Kondensatoren	
3.V. Verstärker	
4. <u>Funktionsweise des Radondetektors</u>	11
4.I. Luftabschluss	
4.II. Nachweis eines Ionisationsereignisses	
4.III. Untergrund bzw. Nulllinienmessung	
4.IV. Lage der Ionisationsspur im elektrischen Feld	
5. <u>Datenanalyse durch AIF-Analyser</u>	13
5.I. Aufgabe des AIF-Analysers	
5.II. Erkennung der Strahlungsereignisse	
5.III. Das Spektrometer	
6. <u>Bestimmung des Radongehaltes in Luft anhand eines Beispiels</u>	16
6.I. Vorgehensweise bei einer Radonmessung	
6.II. Auswertung der Messung	
7. <u>Anhang, Quellen und Literaturverzeichnis</u>	18

1. Einleitung

„Radon ist ein natürliches Edelgas. Es tritt aus dem Boden aus, es ist geruch- und farblos – und tödlich. Laut der „Deutschen Radonstudie“ sterben hierzulande 1900 Menschen jährlich an Lungenkrebs, weil sie zu viel radioaktives Radon eingeatmet haben.“¹ So schrieb die SZ am 10. Januar 2009.

Tatsächlich sind sich viele Menschen der Gefahr, die von der radioaktiven Strahlung von Radon ausgeht, gar nicht bewusst. Das liegt auch an der Tatsache, dass es bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine einfachen, genauen und billigen Messmethoden gibt, welche die Belastung quantifizieren könnten.

Deshalb haben wir es als interessant erachtet, herauszufinden, ob es nicht eine Methode gibt, mit einfachen Mitteln die von Radon ausgehende Strahlenbelastung genau zu messen.

Im Laufe der Entwicklung unseres Radondetektors stellten wir fest, dass es sogar möglich ist, einzelne Atome beim Zerfallen zu „beobachten“.

2. Theorie und Grundlagen

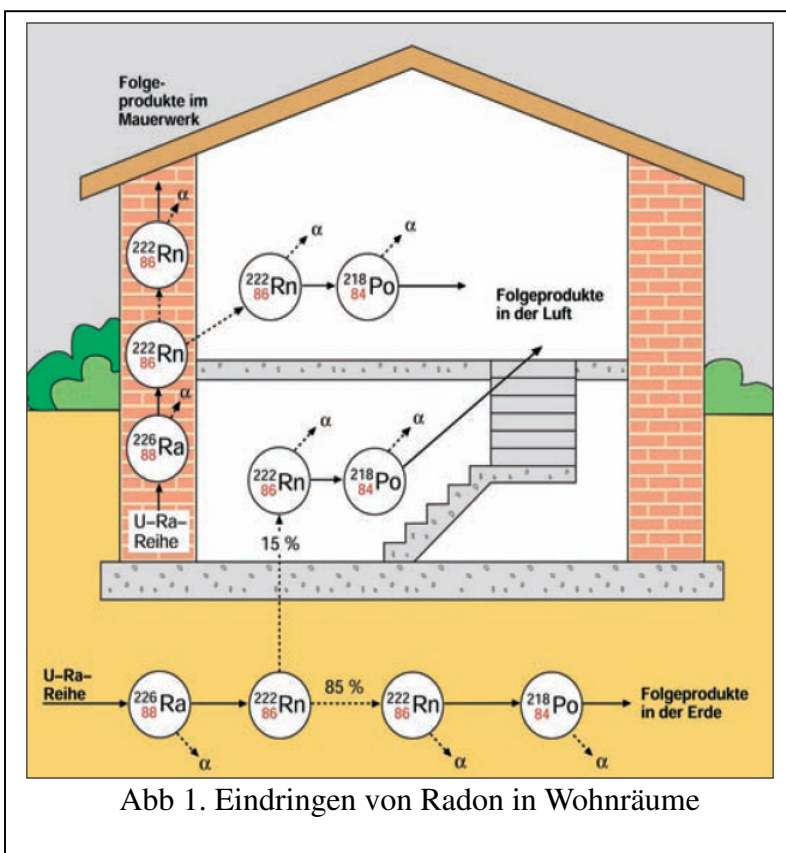


Abb 1. Eindringen von Radon in Wohnräume

2. I. Das Edelgas Radon

Radon ist das 6. Element der 8. Hauptgruppe und wegen seiner Valenzelektronenkonfiguration ein Edelgas. Das bedeutet, dass es praktisch immer als Gas vorliegt, chemisch nicht gebunden ist und durch Feststoffe hindurch diffundieren kann. Es gibt 13 verschiedene Radonisotope, die alle radioaktiv sind.

Jedoch gibt es nur 3 Isotope die in den natürlichen Zerfallsreihen vorkommen: ^{219}Rn , ^{220}Rn und ^{222}Rn . Da das Isotop ^{222}Rn die längste Halbwertszeit hat, ist es mit 90%

das häufigste Isotop. Deswegen legen wir auch hierauf unser Hauptaugenmerk.

¹ Aus Süddeutsche Zeitung vom 10./11. 1. 09

In der Erde zerfällt ständig Uran über verschiedene Zwischenschritte zu Radium, welches wiederum zu Radon zerfällt und damit aus dem festen, kristallinen Zustand in den gasförmigen Zustand übergeht. Diesen Vorgang nennt man Emanation. Das gasförmige Radon kann nun, aufgrund seiner Eigenschaften als Edelgas, in der Erdkruste aufsteigen, bis es an der Oberfläche austritt, was man Emigration nennt. Auch Baustoffe setzen in unterschiedlich starker Weise Radon frei, vor allem natürliches Gestein, Beton und Bimsstein. Aus diesen Gründen sammelt sich Radon in abgeschlossenen, schlecht gelüfteten Räumen. Besonders hoch ist dadurch die Belastung in Kellern (siehe Abb. 1.²).

²²²Radon ist nicht stabil, d.h. es zerfällt mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen unter Emission eines α -Teilchens. Diese α -Teilchen bestehen aus 2 Protonen und 2 Neutronen, entsprechen also einem Heliumkern. Sie haben in Luft eine durchschnittliche Reichweite von ca. 5cm, abhängig von ihrer Energie und der Dichte der sie umgebenden Luft. Entlang dieser Flugbahn, welche man Ionisationsspur nennt, werden die Luftmoleküle ionisiert, d.h. Elektronen werden aus ihren Atomen „herausgeschlagen“ und es entstehen dabei positive und entsprechende negative Ladungen.

Wenn ein Radonatom nun einen Heliumkern abgibt, entsteht daraus Polonium 218. Dieses zerfällt in einer Reihe weiterer Zerfälle zu Blei-210 (siehe Abb. 2). Dies hat eine Halbwertszeit von 22 Jahren. Deswegen dauert es sehr lange, bis sich eine Menge an Blei angereichert hat, die groß genug ist, um eine für uns bedeutende Aktivität zu erzeugen.

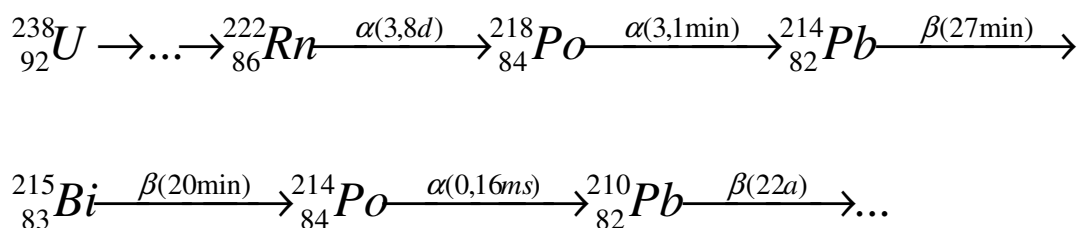


Abb. 2 Uran-Zerfallsreihe

Der Zerfall eines Radonatoms in der Nähe eines Menschen wäre an sich unbedenklich, weil dies nur einen Bruchteil der uns umgebenden Hintergrundstrahlung ausmachen würde. Da Radon als Gas aber ein- bzw. ausgeatmet werden kann, besteht die Möglichkeit, dass es in der Lunge zum Zerfall kommt. In diesem Fall entsteht aus einem einzigen Radonzerfall eine Fülle weiterer Zerfälle, nämlich mindestens 3 α - und 2 β - Zerfälle (bis Blei-210). Außerdem können die radioaktiven Zerfallsprodukte des Radons auch an den Staubpartikeln der Luft binden und mit diesen eingeatmet werden. D.h. die tatsächliche Strahlenbelastung vervielfacht sich im Hinblick auf die eigentlich vom Radon ausgehende Strahlung. Diese Strahlung löst in den Zellen Ionisationsereignisse aus, so dass Enzyme zerstört werden können oder die DNS verändert wird. Diese Veränderung in der DNS kann Lungenkrebs auslösen.

²) Abbildung ist der Broschüre „Radioaktivität und Strahlenschutz“ entnommen; S. 56

Um diese Strahlung zu messen, eignet sich eine Impulsionskammer.

2. II. α - Zerfälle und Ionisationen

Eine Impulsionskammer registriert Ionisationsereignisse, in unserem Fall ausgelöst durch den α -Zerfall eines Radonatoms. Nach dem das α -Teilchen vom Radonkern „ausgesandt“ wurde, tritt es auf seiner Flugbahn mit den Atomhüllen der Luftmoleküle in Wechselwirkung. Hierbei

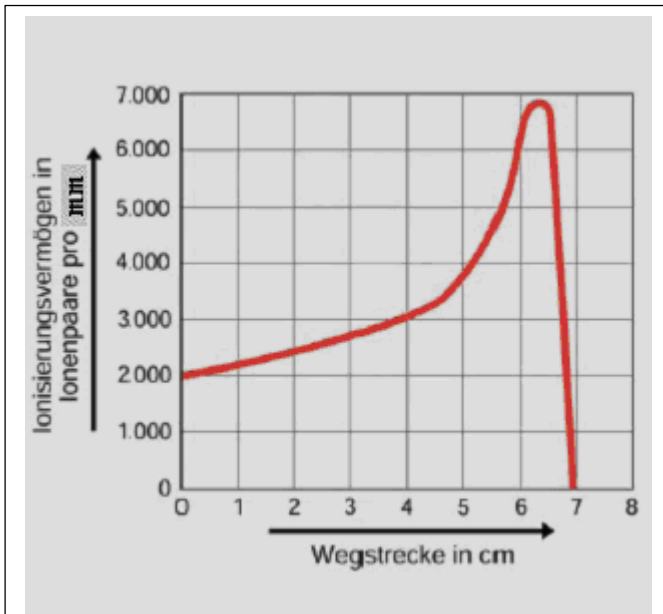


Abb. 3: Ionenbildung längs der Bahn eines α -Teilchens in Luft

werden aus der Hülle Elektronen „herausgeschlagen“. Es entstehen positive Ionen und Elektronen. Die Elektronen werden allerdings sofort von umgebenden Luftteilchen aufgenommen und bilden negative Ionen. So lädt sich z.B. Sauerstoff (O_2) durch die Aufnahme eines Elektrons zu O_2^- negativ auf. In der Folge befinden sich nun positiv- und negativ- geladene Moleküle entlang der Flugbahn. Bei jedem Ionisationsereignis wird das α -Teilchen ein wenig abgebremst, es gibt also Energie ab. Bei Normaldruck haben α -Teilchen in Luft eine durchschnittliche Reichweite von etwa

5cm. Zu beachten ist, dass das Vermögen eines α -Teilchens, ein Ionisationsereignis auszulösen, mit abnehmender Geschwindigkeit ansteigt. Bei dem α -Zerfall steigen also die Ionisationsereignisse pro Wegstrecke, bis das α -Teilchen nicht mehr genug Energie für eine Ionisation besitzt (Abb. 3). Nun ist es auf „*thermische Geschwindigkeiten abgebremst, nimmt zwei freie Elektronen auf und wandelt sich dadurch in ein Heliumatom.*“³. In dem sehr seltenen Fall, dass ein α -Teilchen einem anderen Atomkern nahe kommt, werden die α -Teilchen von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, ohne Energie zu verlieren. Weil dieses Ereignis aber sehr selten ist, bewegen sich die α -Teilchen in Luft fast immer geradlinig.

„Bei einer Ionisierung [durch β -Teilchen] ist die Anzahl der pro Weglänge erzeugten Ionenpaare 100 bis 1000-mal kleiner als bei α -Teilchen.“⁴ Deshalb lassen sich solche Zerfälle mit einer Impulsionskammer praktisch nicht nachweisen.

³ Zitat und Abbildung 3 ist der Broschüre „Radioaktivität und Strahlenschutz“ entnommen; S. 16

⁴ Zitat ist der Broschüre „Radioaktivität und Strahlenschutz! Entnommen,; S.16

2. III. Die Impulsionskammer

Eine Impulsionskammer ist im Prinzip ein gasgefüllter Kondensator, bei dem die Platten

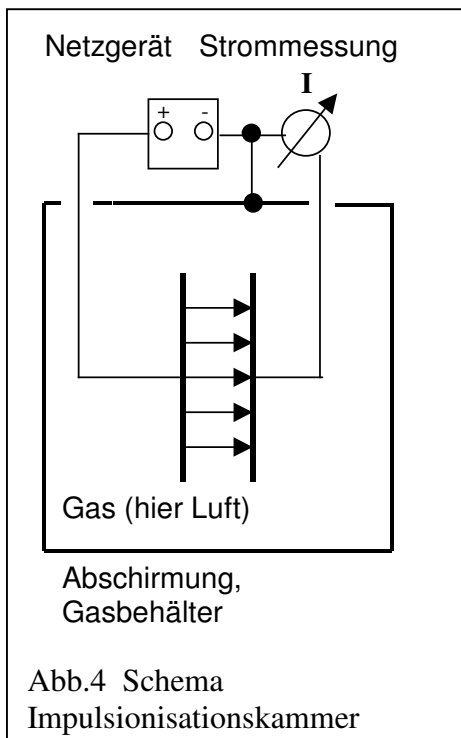


Abb.4 Schema
Impulsionskammer

über einen Strommesser verbunden sind. An den Platten oder Gittern wird eine Spannung angelegt, um ein elektrisches Feld zu erzeugen (Abb.4). Kommt es nun im Kondensator zum Zerfall, entstehen, wie oben erklärt, positive und negative Ionen. Aufgrund ihrer Ladung werden diese Ionen nun von den jeweils entgegengesetzten Platten angezogen und beginnen zu ihnen zu „wandern“, allerdings muss hierfür die Feldstärke E groß genug sein, da die Ionen sonst rekombinieren. Weil es sich in beiden Fällen um Moleküle und nicht wie oben beschrieben, um einzelne Elektronen handelt, bewegen sich die positiven und negativen Ionen im homogenen Feld etwa mit gleicher Geschwindigkeit auf die Platten zu. Da sich hier Ladungen in einem elektrischen Feld bewegen, wird an den Platten bei konstant gehaltener Spannung ein Strom induziert. Über

den Strommesser lässt sich bei jedem Ionisationsereignis ein Stromfluss feststellen, der die entstandene Spannung ausgleicht. Diese Stromimpulse geben der Impulsionskammer ihren Namen.

3. Konkreter Aufbau

(siehe Abb. 13,14,15 / Seite 18/19)

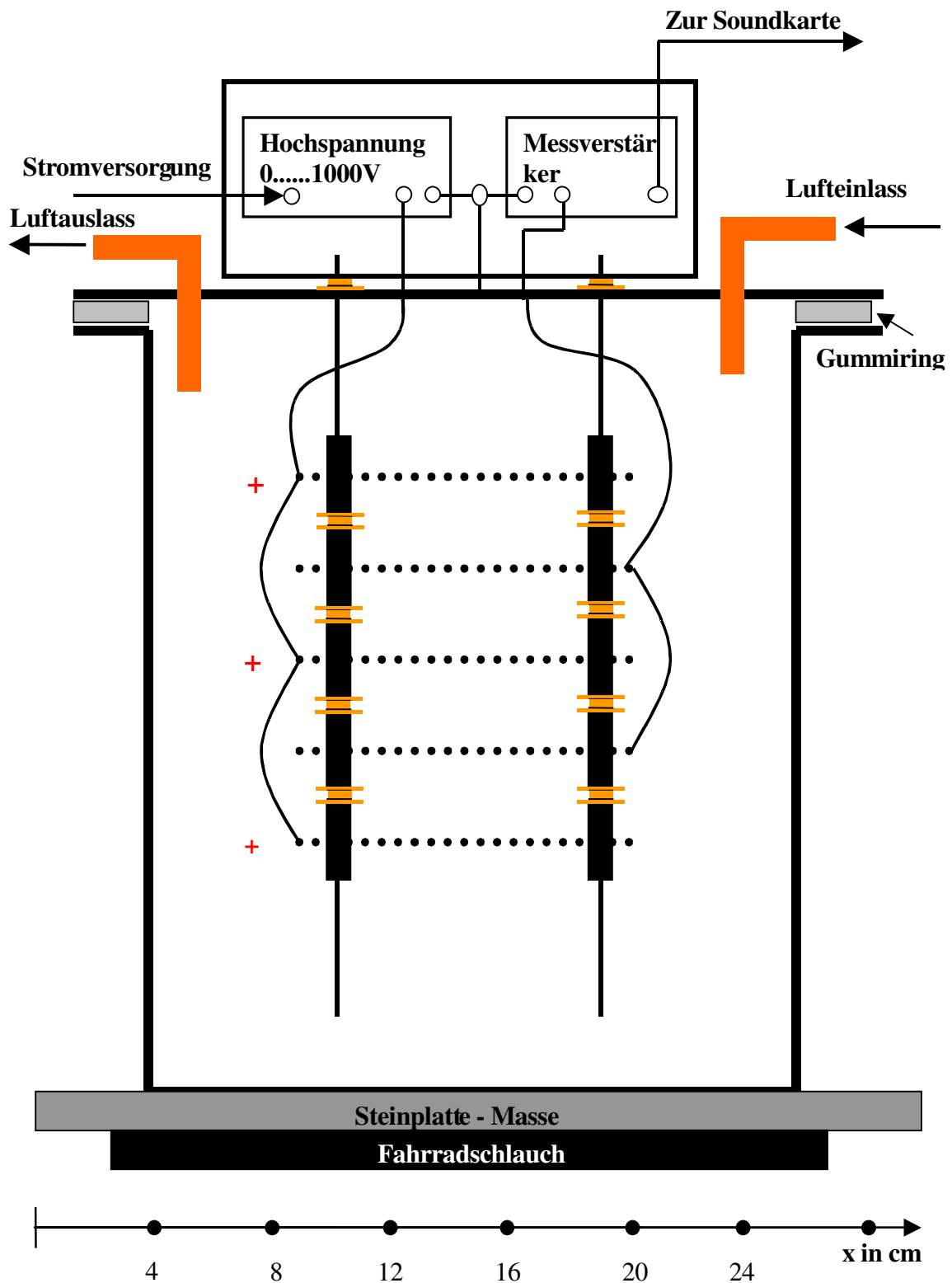


Abb.5 Aufbau unseres Radondetektors (maßstabsgetreu)

(Metallbox mit elektrischen Komponenten, Detektorkammer, Sockel)

Typische Werte für den Radongehalt in Wohnräumen liegen bei 30 bis 300Bq/m³. Unser Ziel ist es, einen Radondetektor zu bauen, bei dem die Untergrundzählrate und die damit verbundene minimale Messrate bei ungefähr 1 Zerfall pro Minute liegt. Um bei der erwarteten Genauigkeit einen Wert von 30Bq/m³ nachweisen zu können, muss unser aktives Messvolumen ungefähr 1 Liter betragen. Unsere Impulsionskammer unterliegt einer Reihe von äußeren Einflüssen. Zum einen reagiert sie stark auf akustische und mechanische Schwingungen. Um dem entgegenzuwirken, haben wir einen geeigneten Sockel gebaut. Er besteht aus einer schweren Steinplatte, die allein durch ihre Masse Schwingungen dämpft. Zudem ist sie schwingungsarm auf einem Fahrradschlauch gelagert. Damit der Schwingungsübergang zwischen Platte und Metalltopf reduziert wird, haben wir noch eine Filzschicht unter den Topf gelegt. Der Topf selber ist aus Edelstahl, der geschlossen als Faradayscher Käfig fungiert. D.h. er schirmt elektrische Felder komplett ab. Dies ist wichtig, da wir einzelne atomare Prozesse nachvollziehen wollen und jede Störung unser Messergebnis verfälschen kann. Für den Betrieb der Ionisationskammer benötigen wir eine von 0 bis 1000V frei regelbare, stabilisierte Hochspannung. Die einem 12V-Netzgerät nachgeschaltete Hochspannungsversorgung wurde uns von unserem Physiklehrer zur Verfügung gestellt. Die Hochspannung ist zusammen mit dem Verstärker in einer gesonderten Metallbox untergebracht. Sie wird am Deckel angebracht, um Kabelwege außerhalb der Abschirmung so gering wie möglich zu halten.

Um die Luftproben auszutauschen ohne den Deckel zu öffnen und dabei eventuelle radioaktive Verunreinigungen zu riskieren, haben wir den Deckel mit Bohrungen versehen. In diese Bohrungen wurden von uns Gummischläuche mit etwas größerem Durchmesser gesteckt. Diese sind de facto luftdicht und können mit einer Klemme verschlossen werden. Das Herz der Impulsionskammer bilden die Gitterelektroden. Statt Platten verwenden wir Gitter, um die Flugbahnen der α -Teilchen so wenig wie möglich zu stören. Die Gitter bestehen aus verzinkten Stahldrähten aus dem Baumarkt. Dies sind eine mögliche Quelle für ungewollte Ionisationsereignisse, da wir nicht genau wissen, ob sich Verunreinigungen in dem Stahl befinden. Um zu gewährleisten, dass keine α -Teilchen aus Zerfällen in der Edelstahllegierung des Topfes oder von Verunreinigungen an den Wänden die Messungen beeinträchtigen, müssen die Gitterebenen weit genug von diesen entfernt sein. Bei einem Abstand von 6cm zu den Wänden bleibt als Durchmesser für die Gitterebenen eine Länge von 11cm. Dies ist aber in Verbindung mit der Höhe des Topfes von 25cm ausreichend, um das angestrebte Ziel von 1 Liter Messvolumen zu erfüllen. Ein Punkt, in den viele Faktoren mit einfließen, ist der Abstand der Gitterebenen zueinander. Auf der einen Seite wollen wir, um eine große Stromstärke zu erreichen, eine möglichst kleine Sammelzeit T der Ionen. Diese wächst mit dem Quadrat des Gitterebenenabstandes d :

$$T = \frac{d}{v} = \frac{d}{\beta \cdot E} = \frac{d}{\beta \cdot \frac{U}{d}} = \frac{d^2}{\beta \cdot U}$$

(β = Ionenbeweglichkeit; U = Spannung; v = Driftgeschwindigkeit)

Auf der anderen Seite wollen wir, um das Verstärkerrauschen möglichst gering zu halten, eine kleine Kapazität C des von den Gitterebenen gebildeten Kondensators. Diese ist aber indirekt proportional zum Quadrat des Gitterebenenabstandes.

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad \text{mit} \quad A \cdot d = V \quad (A = \text{Gesamtfläche;} \\ V = \text{Volumen (vorgegeben))}$$

$$\Rightarrow C = \epsilon_0 \cdot \frac{V}{d^2}$$

Außerdem sollten die α -Teilchen nicht mehr als 2 Gitter durchlaufen müssen, da die Gittertransmission nur ungefähr 80% beträgt, d.h., dass sie mit einer Wahrscheinlichkeit von ungefähr 20% mit dem Gitter kollidieren.

Durch Abwägung dieser drei Faktoren und vorangegangener Tests ergibt sich ein sinnvoller Gitterebenenabstand von 3cm.

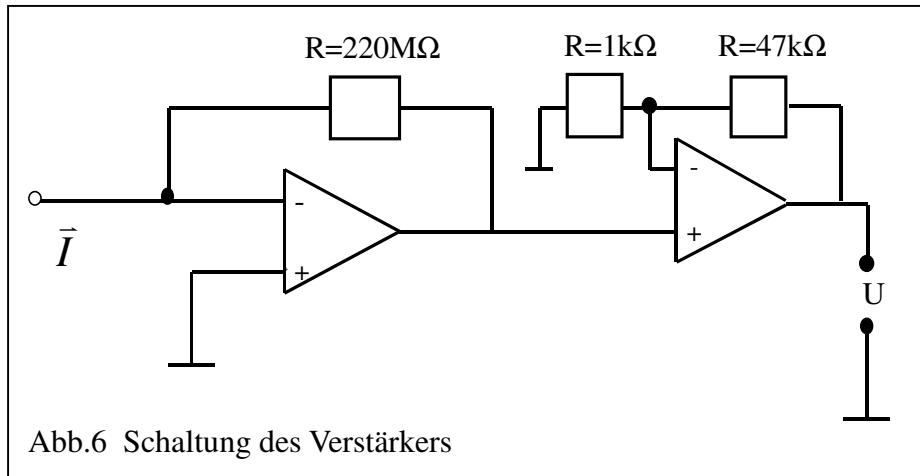
Ein anderes wichtiges Problem ist die Isolation der Gitterebenen zueinander. Die Gitterebenen werden an vier Gewindestangen angebracht, die am Deckel befestigt und somit geerdet sind. Um eine optimale Isolierung der Gitterebenen zueinander zu gewährleisten, werden sie erstens auf nicht leitende Plastikröhrchen aufgesteckt, durch welche die Gewindestangen führen. Um Kriechströme (auch auf Isolatoren können durch eventuelle Verschmutzungen geringe Ladungen fließen) zu verhindern, werden die einzelnen Plastikröhrchen von Messingmuttern und Messingbeilagscheiben getrennt. Da diese leitend mit den geerdeten Gewindestangen verbunden sind, können etwaige Kriechströme so abfließen. Die jeweils äußeren und die mittlere Gitterebene sind mit dem positiven Anschluss der Hochspannung verbunden. Die beiden inneren Ebenen sind über den Messverstärker, der als Strommesser arbeitet, geerdet. Für die zu erwartende Stromstärke lässt sich Folgendes abschätzen: Ein α -Teilchen aus einem Radon Zerfall hat eine kinetische Energie von ca 5,5 MeV. Die Ionisierungsenergie von Luftmolekülen beträgt im Durchschnitt 34 eV ⁵⁾. Das bedeutet, ein α -Teilchen kann also $5,5 \text{ MeV} \div 34 \text{ eV} = 162000$ Ionenpaare erzeugen. Da jedes dieser Moleküle einfach geladen ist und sich die Ionen in Luft im Durchschnitt innerhalb von 5 ms zu den Platten bewegen, fließt ein Strom von ungefähr



⁵⁾ Werte sind aus der Broschüre „Radioaktivität und Strahlenschutz“ entnommen.

$$\frac{162000 \cdot 10^{-19} \text{ As}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 3,24 \cdot 10^{-12} \text{ A} .$$

Diese Stromstärke ist für eine Auswertung durch eine Computersoundkarte zu gering, deswegen muss sie geeignet verstärkt werden. Unser Verstärker



ist ein MOS-FET-Operationsverstärker (Abb. 6). Er hat einen sehr hohen Eingangswiderstand und ist besonders rauscharm. Für den Frequenzbereich von 0 bis 3kHz beträgt seine Gesamtverstärkung

$$220 \text{ M}\Omega \cdot 48 = 1,0 \cdot 10^{10} \Omega = 10,6 \frac{\text{mV}}{\text{pA}} .$$

Die abgehenden Signale werden mit dem Nero Wave Editor bei einer Samplingrate von 8kHz und einer Auflösung von 16 bit aufgezeichnet und zunächst abgespeichert. Die Analyse der Daten erfolgt dann später „offline“.

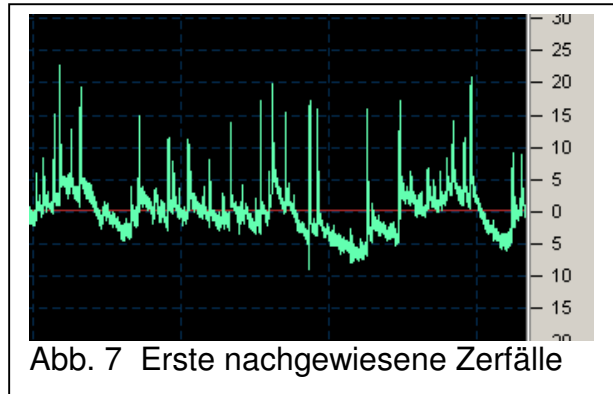
4. Funktionstests des Radondetektors

4.1. Luftabschluss

In einem ersten Schritt haben wir unsere Kammer auf Luftabschluss getestet. Die Durchführungen für Kabel im Deckel wurden mit Zwei-Komponenten-Kleber abgedichtet und zwischen Deckel und Topf ein Gummiring eingelegt. Nun haben wir an einem der Luftaustauschschläuche eine Vakuumpumpe angeschlossen, während der andere Ausgang durch eine Klemme verschlossen wurde. Hierbei stellte sich heraus, dass der Gummi aufgrund seiner Härte nicht absolut luftdicht schließt. Trotzdem ist der Luftabschluss gut genug, um zu verhindern, dass die Luft in der Kammer bei mehrstündigen Messungen mit der Umgebung ausgetauscht wird.

4.II. Nachweis von Ionisationsereignissen

Der nächste Test sollte zeigen, ob unsere Impulsionisationskammer überhaupt auf Ionisationen reagiert. Hierzu verwendeten wir einen mit Thorium versetzten Glühstrumpf, der sehr geringe Mengen an Radon-220 freisetzt. Dies leiteten wir in unseren Detektor. Das aufgezeichnete Signal enthielt eine Fülle von Ausschlägen (siehe Abb. 7). Dies beweist, dass unsere Ionisationskammer wie gedacht funktioniert und auf Radon reagiert.



4.III. Untergrund bzw. Nulllinienmessung

Für die nächste Messung ließen wir den Topf 16 Tage lang geschlossen, um zu erreichen, dass sich im Topf praktisch kein Radon mehr befindet. Die anschließende einstündige Messung ergab eine durchschnittliche Untergrundzählrate von weniger als 3 Zerfällen pro Minute. Sie enthält diejenigen Zerfälle, die nicht auf Radon zurückzuführen sind, sondern möglicherweise auf Zerfallsprodukte und uns unbekannt Verunreinigungen im verwendeten Material. Diese Rate wird als „Background“ bezeichnet und muss bei jeder weiteren Messung abgezogen werden.

4.IV. Lage der Ionisationsspur im elektrischen Feld

Die Form des I-t-Verlaufes, das den Zerfall beschreibt, lässt viele Schlüsse auf den Ablauf des Zerfalls zu. Hier muss zunächst geklärt werden, was die Form eines Signals beeinflusst.

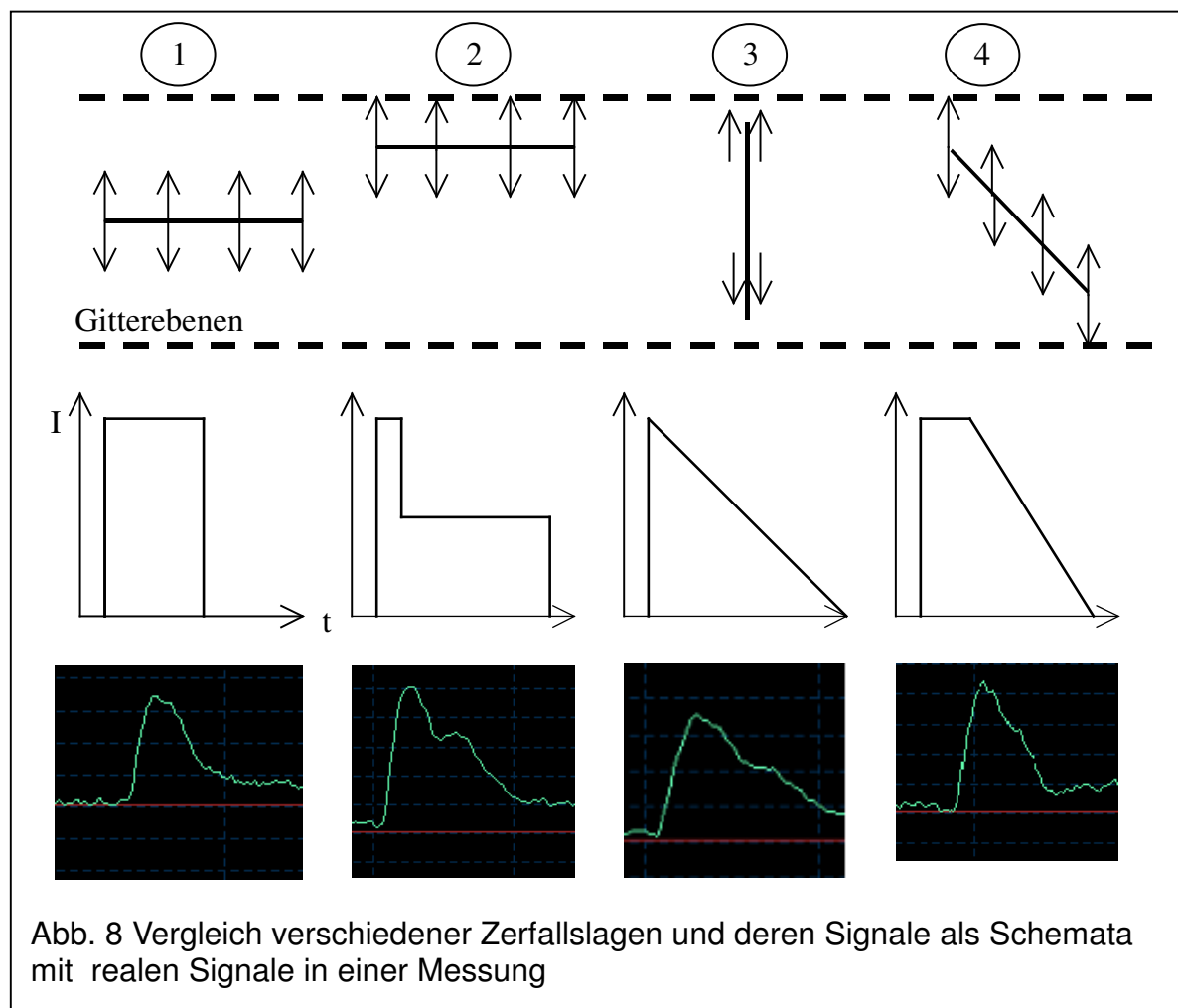
Über die Signalform lassen sich Aussagen über die Lage der Ionisationsspur im elektrischen Feld machen. Flachpunkte und Terrassenpunkte sagen aus, auf welcher Höhe zwischen zwei Gitterebenen die Ionisationsspur liegt. Die Höhe der Signale zu einem gewissen Zeitpunkt sagt aus, wie viele Ionen in diesem Moment auf die Gitterebenen zudriften, da der Strom durch die Bewegung der Ladungen im elektrischen Feld und nicht durch deren Auftreffen auf dem Gitter entsteht.

Auch die Steigung der Signale gibt Aufschluss über deren räumliche Lage. Die Steigung, bzw. das Gefälle eines Signals sagt aus, wie viele Ladungsträger zu diesem Zeitpunkt die Gitterebenen erreichen. Fällt ein Signal sehr steil ab, bedeutet das, dass viele Ionen rasch nacheinander den Draht erreichen. Daraus kann gefolgert werden, dass die Ionisationsspur in einem flachen Winkel zu den Gitterebenen liegt. Umgekehrt beschreibt ein sehr langsam abnehmendes Signal eine Ionisationsspur, die in einem sehr hohen Winkel bis senkrecht zu den Gitterebenen steht. Hier treffen die Ionen nach und nach auf die Gitter. Diese Ergebnisse sind in der folgenden Grafik zusammengefasst.

Abb. 8 beschreibt vier verschiedene Zerfälle in drei Schritten. Im ersten Schritt ist die Lage der

Ionisationsspur zwischen zwei Gitterebenen markiert. Von dort fangen die Ionen nun an, sich Richtung Gitterelektroden zu bewegen. Diese Bewegung erzeugt den Stromfluss. Je mehr Ladungen in Bewegung sind, desto größer ist der Stromfluss.

Der zweite Schritt stellt ein Diagramm des zu erwartenden Stromflusses dar. Auf der x-Achse ist die Zeit aufgetragen. Jeweils zum Ende des Diagramms haben alle Ionen die Gitterelektroden erreicht. Wieder ist zu beachten, dass alle Stromstärke-Zeit-Diagramme ein Integral der selben Größe beschreiben.



Schritt eins und zwei sind idealisierte Schemata.

Beispiel 1 beschreibt eine Ionisationsspur, die parallel und mittig zu den Gitterebenen liegt. Alle Ionen haben einen gleich langen Weg und treffen zum selben Zeitpunkt auf die Gitter.

Beispiel 2 beschreibt auch eine parallel liegende Ionisationsspur. Hier ist die erste Hälfte der Ionen allerdings schneller an den Gittern angelangt, weshalb sich der Stromfluss nach kurzer Zeit halbiert. Beachte: $t_2 > t_1$.

Beispiel 3 beschreibt den Extremfall, bei dem die Ionisationsspur genau senkrecht zu den Gittern steht. Idealerweise würde der Kurvenverlauf nun ein rechtwinkliges Dreieck bilden. Anders als im Schema dargestellt, würde die 5cm lange Ionisationsspur über die beiden, 3cm von einander

entfernten, Gitterebenen hinausgehen.

Beispiel 4 stellt bereits eine Mischform aus Bsp. 2 und Bsp. 3 dar. Bis die ersten Ionen der schrägliegenden Ionisationsspur die Gitter erreichen, fließt ein konstanter Strom. Ab diesem Zeitpunkt sinkt der Strom kontinuierlich ab.

Um unsere Ergebnisse zu überprüfen, haben wir im folgenden dritten Schritt zu unseren Modellen reale Signalformen aus einer Messung gesucht und verglichen (siehe Abb. 12). Wir fanden zu allen vier Kurvenverläufen echte, entsprechende Signale.

Die vier dargestellten Kurvenverläufe sind nur einige der auftretenden Signalformen, da es natürlich beliebig viele Mischungen aus unterschiedlichen Winkeln und Lagen gibt.

Für eine genauere Analyse der Signalformen und der Störimpulse haben wir aus dem „Jugendforscht-Sponsorpool“ ein digitales Speicheroszilloskop (LeCroy WA102) erhalten und möchten uns an dieser Stelle bei der Stiftung Jugend forscht bedanken.

5. Datenanalyse durch einen AIF-Analyser

5. I. Aufgaben des Aif Analysers

Der Aif Analyser ist ein selbst entwickeltes Computerprogramm, das die aufgenommenen Messdaten auf dem Computer öffnet und auswertet. Hierbei sucht es nach aufgezeichneten Strahlungsereignissen und zählt sie aus. Dabei ist wichtig, dass es verschieden starke Ereignisse unterscheidet. Störsignale und Untergrundrauschen müssen herausgefiltert werden. Die dazu notwendigen Auswertungsparameter können vom Benutzer eingestellt werden, um die Auswertung individuell an verschiedene Messbedingungen anzupassen.

5. II. Erkennung der Strahlungsereignisse

Die Messdaten liegen auf dem Computer als aif Sounddateien vor. Das aif Format speichert die bei der Soundkarte eingehende Spannung periodisch als Zahlenwerte ab. Ein vom Detektor registriertes Strahlungsereignis wird als Spannungsstoß an der Soundkarte in der aif Datei beispielsweise so aufgezeichnet:

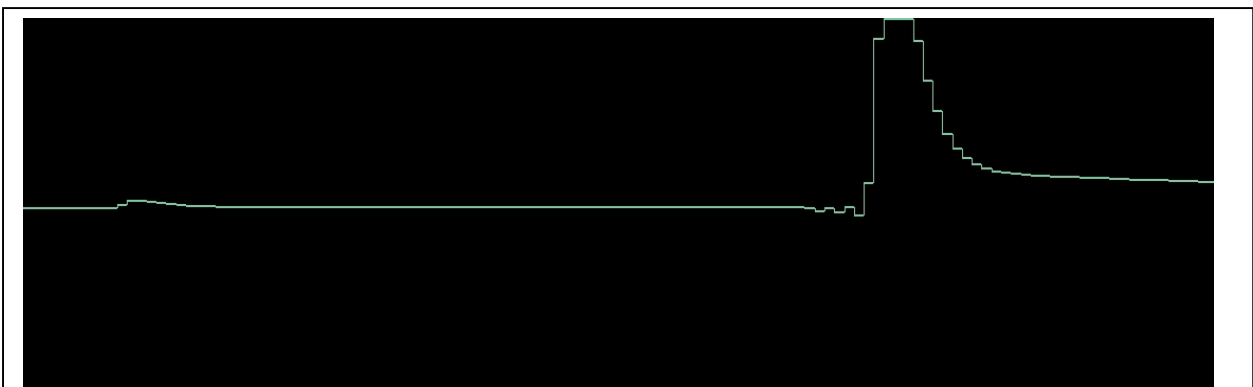


Abb. 9 Beispiel Zerfall

Um die Spannungsstöße unterscheiden zu können, bildet der Aif Analyser die Summe:

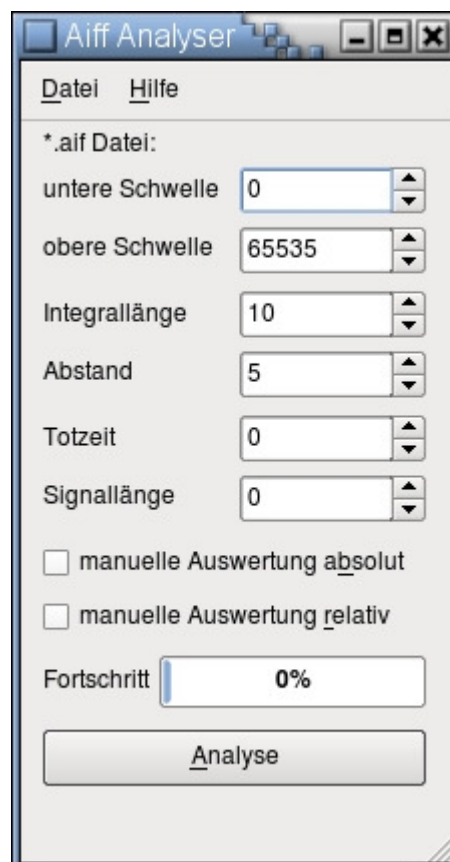
$\sum_t^{t+k} f(t); t \in \mathbb{Z}$, die näherungsweise dem Integral $\int_t^{t+k} f(t) dt$ entspricht.

Die Integrallänge k kann vom Benutzer eingestellt werden und sollte der Sammelzeit für Ionen durch die Gitterelektrode entsprechen. Da sich der Spannungsstoß mit Untergrundrauschen überlagern kann, muss seine Höhe unabhängig vom Nullpunkt bestimmt werden. Dies geschieht durch eine Differenzbildung mit einem früheren Integral im Abstand l . Daraus ergibt sich die neue Pulshöhe eines Ionisationsereignisses:

$$f \left(\int_t^{t+k} f(t) dt - \int_{t-l-k}^{t-l} f(t) dt \right)$$

In Form eines Algorithmus wird diese Funktion auf lokale Maxima, die ein Strahlungsereignis repräsentieren, untersucht. Anschließend speichert das Programm die Anzahl der Maxima in Abhängigkeit der Höhe in einer Datei ab.

Die Auswertungsparameter lassen sich über die Benutzeroberfläche einstellen.



5. III. Das Pulshöhenspektrum

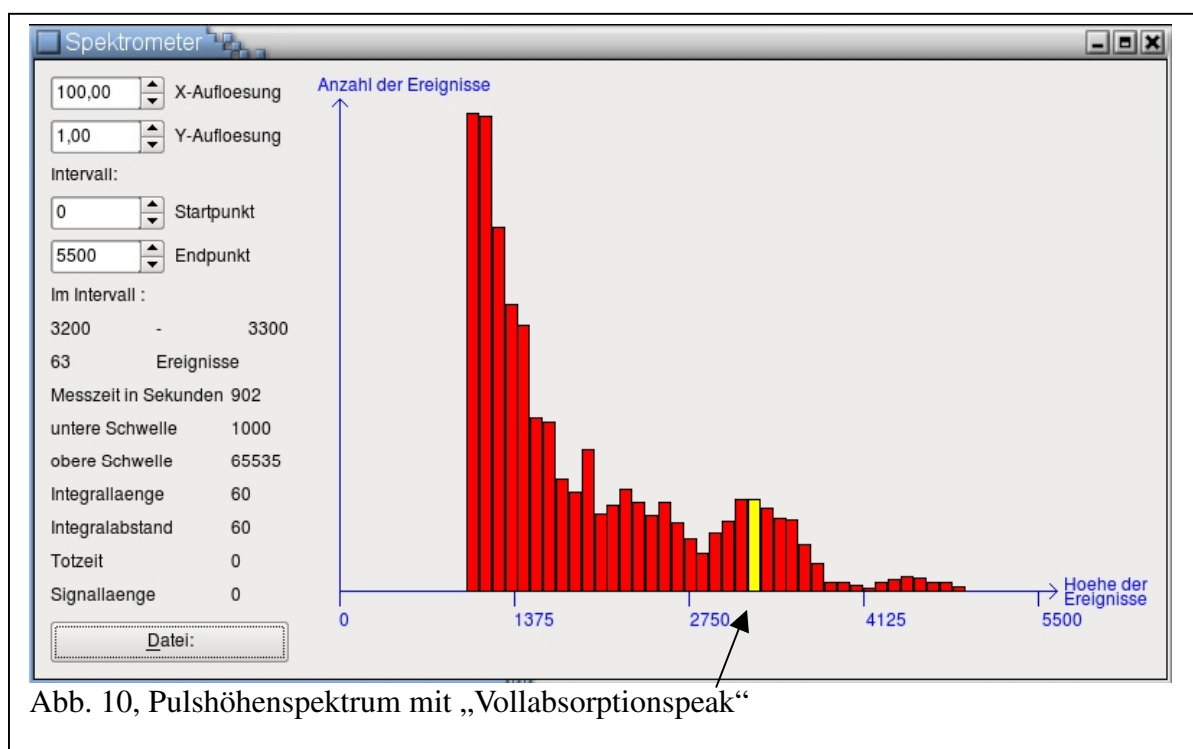


Abb. 10, Pulshöhenspektrum mit „Vollabsorptionspeak“

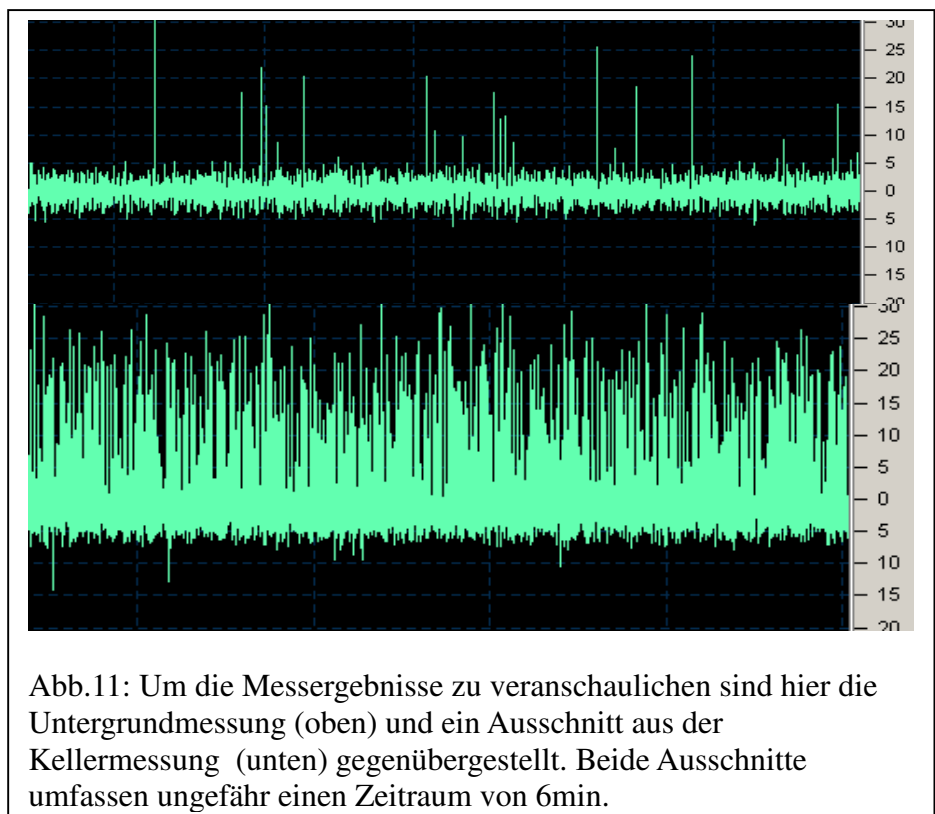
Nach der Auswertung der aif Datei öffnet der aif Analyser ein Fenster, welches das Ergebnis der Auswertung als Pulshöhenspektrum anzeigt. (siehe Abb. 10)

Auf der x-Achse ist die Höhe der Ereignisse aufgetragen, was der Energie des α -Zerfalls entspricht. Auf der y-Achse ist die Anzahl der Ereignisse aufgetragen, wodurch man im Spektrum erkennen kann, wie viele Zerfälle mit welcher Energie stattgefunden haben.

6. Bestimmung des Radongehaltes in Luft anhand eines Beispiels

6. I. Vorgehensweise bei einer Radonmessung

Um mit unserem Detektor nun Radonmessungen durchzuführen, verwendeten wir für unsere erste Radongehaltsbestimmung Luft aus einem nicht vollständig betonierten und längere Zeit ungelüftetem Keller aus Murnau. Wir füllten einen 20L Plastiksack mit der Kellerluft und verschlossen ihn mit Kabelbindern. Dann öffneten wir den ersten Kabelbinder und steckten

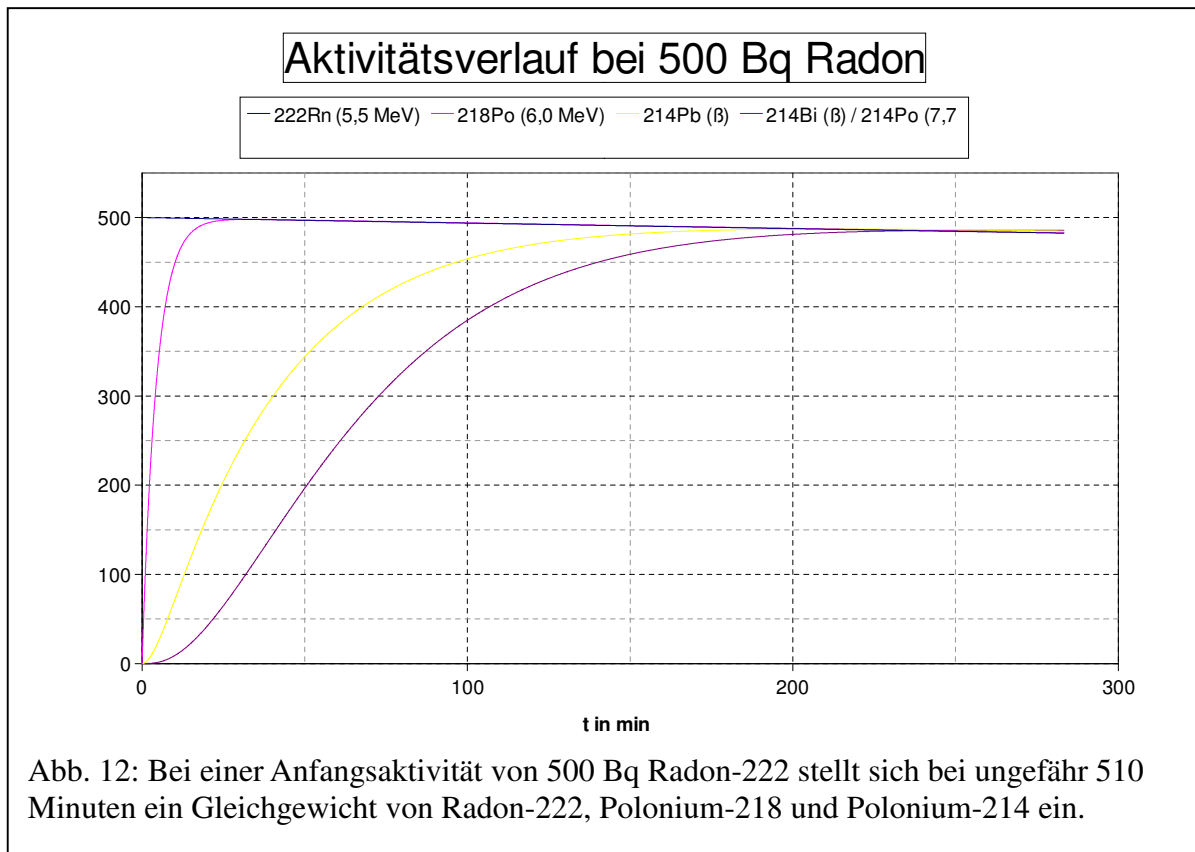


den Luftaustauschschlauch des Detektors in die obere Öffnung des noch verschnürten Sackes. Daraufhin umwickelten wir den Teil des Sackes luftdicht, in dem der Schlauch steckt, und öffneten den zweiten Kabelbinder. Durch Öffnen des „Luftauslassschlauches“ und Zusammendrücken des Sackes pressten wir die Luft in unseren Detektor. Dabei achteten wir darauf, weit mehr Luft in den Detektor zu pressen als dieser an Volumen hat, um sicherzustellen, dass die Luft wirklich vollständig ausgetauscht wird. Damit in der Zwischenzeit nicht zu viel Radon zerfallen konnte, vergingen vom Entnehmen der Luft bis zur Messung nur wenige Stunden. Nachdem im Sack fast keine Luft mehr war, haben wir den Luftauslassschlauch wieder verschlossen, den Lufteinlassschlauch aus dem Sack herausgezogen und auch diesen verschlossen. Daraufhin haben wir sofort mit der Aufnahme der eingehenden Signale in die Soundkarte begonnen. Als

Ergebnis hatten wir eine durchschnittliche Zerfallsrate von 72 Ereignissen pro Minute, also 1,2 Ereignisse/Sekunde. (Abb.11)

6. II. Auswertung der Messung

Bevor man die einzelnen Dateien auswertet, muss man einige Überlegungen anstellen. Wie viele der gemessenen Zerfälle sind wirklich auf das Radon zurückzuführen und wie viele auf seine Folgezerfälle? Hier ist es wichtig zu wissen, dass sich nach einer gewissen Zeit, ungefähr 510 min, ein Gleichgewicht zwischen den Aktivitäten von Radon-222, Polonium-218 und Blei-214 im Verhältnis 1:1:1 einstellt, da die entstehenden Zerfallsprodukte wiederum mit ihrer jeweiligen Halbwertszeit zerfallen und sich dadurch ihre Aktivität der von Radon-220 angleicht. Es zerfallen nun genau so viele Polonium-214 bzw. Polonium-218 Atome wie Radon-222 Atome (Abb.12).



Die Aktivitäten von Blei-214 und Bismut-214 können unberücksichtigt bleiben, da diese β -Teilchen emittieren, deren Ionisationsvermögen nicht ausreicht, um für uns sichtbare Ereignisse auszulösen.

Da Polonium ein Schwermetall ist, setzen sich die Atome aus dem aktiven Volumen an den Gitterdrähten ab, von wo aus sie weiter zerfallen. Sie senden ihre α -Teilchen zufällig in alle Richtungen aus. Das bedeutet aber, dass ziemlich genau die Hälfte der α -Teilchen direkt in Richtung des Drahtes emittiert wird, dort sofort „stecken“ bleibt und deshalb keine Ionisationen ausführt. Deswegen verschiebt sich das Verhältnis der Zerfälle in Richtung des Radons:

$$1(^{222}\text{Rn}) : 0,5(^{214}\text{Po}) : 0,5(^{218}\text{Po})$$

Somit entsteht nach dieser Zeit ein Aktivitätsgleichgewicht in dem Verhältnis: Radon:Folgeprodukte = 1:1.

Um nun das Messergebnis auswerten zu können, müssen wir also berücksichtigen, wie lange die Messung stattgefunden hat (in diesem Fall 1802 s) und als Folge daraus, wie viele Zerfälle auf das Radon zurückzuführen sind.

Hierzu führten wir zunächst eine Untergrundmessung durch, das bedeutet man zählt die Anzahl der Ereignisse pro Minute ab, die sich ergeben, wenn der Detektor 14 Tage lang geschlossen ist. Diese Ereignisse werden als „Untergrundstrahlung“ bezeichnet und können auf Verunreinigungen im Detektor oder auf den Gitterelektroden. Danach führten wir die Messung mit der Kellerluftprobe durch und analysierten sie mit dem „aif-Analyser“. Im Energiespektrum fällt unser Augenmerk auf den „Vollabsorptionspeak“. Dies sind die im Detektor vollständig registrierten Ereignisse des Radons und des ^{218}Po (Das ^{214}Po muss nicht miteinbezogen werden, da die durch dieses Isotop ausgelösten Ereignisse im Energiespektrum weiter rechts auf der x-Achse liegen). Aus dem „Vollabsorptionspeak“ lässt sich mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation, die von unserem Mitschüler Eugen Schwindt für unseren Detektor entwickelt wurde, auf die reale Radonaktivität im gesamten Detektorvolumen schließen. Da die Aktivität des ^{218}Po innerhalb der Messzeit bereits 24% der Gesamtaktivität ausmacht (siehe Abb.12), ergibt sich folgender Wert:

$$796 \frac{1}{1802 \text{ s} \cdot 8,1\text{l}} = \frac{7,8}{100} \cdot x \quad x = \frac{796 \cdot 100}{7,8} \cdot \frac{1}{1802 \text{ s}} = 10205 \cdot \frac{1}{1802 \text{ s} \cdot 8,1\text{l}} = \frac{10205}{1802 \cdot 8,1} \cdot 1000 \cdot 0,76 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} = 531,36 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$$

Nach der Monte-Carlo Simulation werden die Ereignisse im „Vollabsorptionspeak“ von 89%-100% im aktiven Volumen erkannt. Dies entspricht 7,8% der Zerfälle in unserem gesamten Detektorvolumen.(8,1l)

Wir erhalten somit 10205 Ereignisse in der Messzeit, hochgerechnet auf das gesamte Detektorvolumen.

24% der Gesamtaktivität sind bereits auf das Polonium-218 zurückzuführen

Umrechnung in Bq/m³

Ähnlich hohe Zerfallsraten traten bei uns nur bei einem Test, bei dem wir künstlich Radon-220 hinzugaben, welches ein Zerfallsprodukt eines Thoriumglühstrumpfes ist, auf. Sowohl die Weltgesundheitsorganisation als auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit streben einen Grenzwert 100Bq/m³ an. Laut BMU steigt bereits bei einer Erhöhung um 100Bq/m³ die Wahrscheinlichkeit an Lungenkrebs zu erkranken um 10%.

7. Quellen und Literaturverzeichnis:

1. Informationskreis Kernenergie (Hrsg): Broschüre: „Radioaktivität und Strahlenschutz“ 2004
2. <http://de.wikipedia.org/wiki/Radon> 7.1.2009
Wikimedia Deutschland - Gesellschaft zur Förderung Freien Wissens e.V.
3. Kernforschungszentrum Karlsruhe, „Nuklidkarte“ 5. Auflage
Kommunalschriftenverlag, München 1981
4. <http://www.radon-info.de/shtml/home.shtml> 21.10.2008
Kemski und Partner, Beratende Geologen
5. Jürgen Wolf, „Qt 4 – GUI-Entwicklung mit C++“
Galileo Press GmbH
6. Daniel Molketin; „Qt 4 Einführung in die Applikationsentwicklung“
Open Source Press; München Oktober 2006
7. Die elektronischen Komponenten wurden gemeinsam mit unserem Kursleiter, Hr.
Dr. Urban , entwickelt.